

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMIRINGAN DINDING
DEPAN KOLOM AIR TERHADAP PERANGKAT *OSCILLATING*
*WATER COLUMN***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SYAHRUL ROZI HAQIQI
NIM. 145060201111034**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMIRINGAN DINDING DEPAN KOLOM AIR TERHADAP PERANGKAT *OSCILLATING WATER COLUMN*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SYAHRUL ROZI HAQIQI
NIM. 145060201111034

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 18 Juli 2018

DOSEN PEMBIMBING I

Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

DOSEN PEMBIMBING II

Winarto, ST., MT., Ph.D
NIP. 19710710 200012 1 001

Mengetahui,
KETUA PROGRAM STUDI S1



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMIRINGAN DINDING DEPAN KOLOM
AIR TERHADAP PERANGKAT *OSCILLATING WATER COLUMN*

Nama Mahasiswa : Syahrul Rozi Haqiqi
NIM : 145060201111034
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

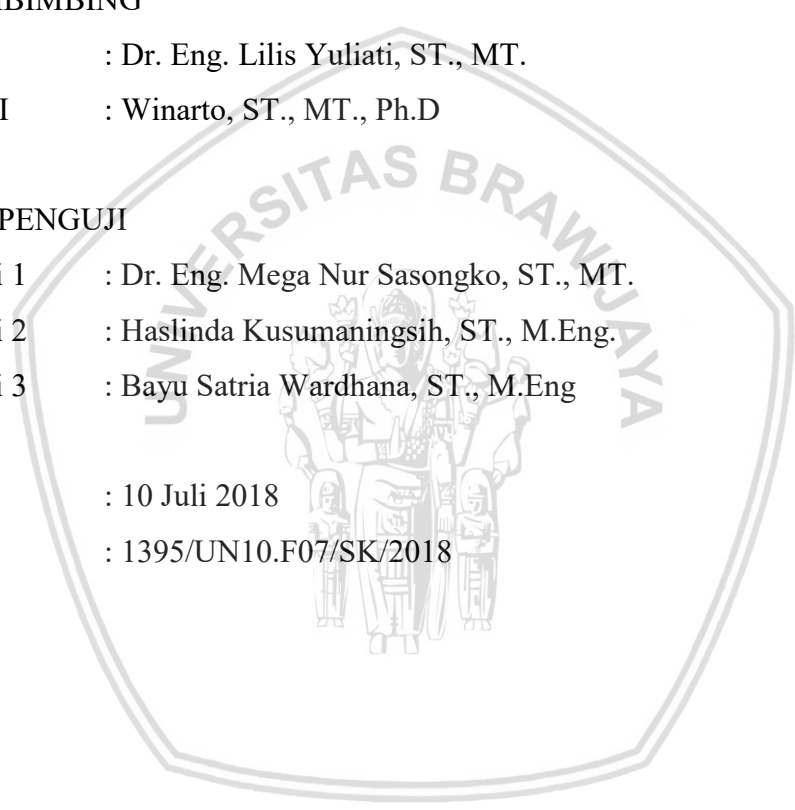
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT.
Pembimbing II : Winarto, ST., MT., Ph.D

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.
Dosen Penguji 3 : Bayu Satria Wardhana, ST., M.Eng

Tanggal Ujian : 10 Juli 2018
SK Penguji : 1395/UN10.F07/SK/2018

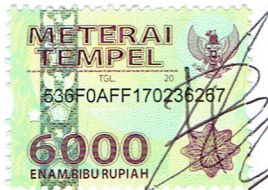


PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Juli 2018
Mahasiswa,



Syahrul Rozi Haqiqi
NIM. 145060201111034

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 119/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

SYAHRUL ROZI HAQIQI

Dengan Judul Skripsi :

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMIRINGAN DINDING DEPAN KOLOM AIR
TERHADAP KINERJA PERANGKAT OSCILLATING WATER COLUMN**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

18 JUL 2018



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, “Studi Eksperimental Pengaruh Kemiringan Dinding Depan Kolom Air Terhadap Kinerja Perangkat *Oscillating Water Column*” dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasullulah Muhammad SAW.

Dalam penyusunan skripsi penulis telah mendapatkan bantuan, petunjuk, semangat, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, antara lain :

1. Kedua orang tua dan kakak perempuan yang selalu mengingatkan dan memberi semangat penulis.
2. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, dan Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
3. Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
4. Dr.Eng Lilis Yuliati, ST., MT. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi banyak pengetahuan, motivasi, bimbingan, dan arahan dengan sabar dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Winarto, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan wawasan baru, motivasi, bimbingan, arahan, dan teguran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Dosen dan staf Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut dan kemajuan kita bersama.

Malang, 7 Juni 2018

Penulis

(Syahrul Rozi Haqiqi)



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Karakteristik Gelombang.....	8
2.3 Energi Gelombang	9
2.4 Pembuat Gelombang (<i>wave maker</i>).....	11
2.5 <i>Oscillating Water Column</i>	13
2.6 Persamaan Bernoulli.....	14
2.7 Tekanan Statik, tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamik	15
2.8 Kerugian Tekanan Aliran dalam Pipa (<i>Head Loss</i>).....	14
2.9 Hipotesis	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Instalasi Penelitian	25
3.4 Metode Pengambilan Data.....	26
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Gelombang	29
4.1.1 Hasil dan Pembahasan Karakteristik Gelombang.....	29
4.1.2 Pengolahan Data Daya Gelombang Air.....	30
4.2 Hubungan Daya Udara terhadap Kemiringan Dinding Depan Kolom OWC	32
4.2.1 Pengolahan Data Daya Udara	32
4.3 Hubungan Efisiensi terhadap Kemiringan Dinding Depan Kolom OWC.....	37
4.3.1 Pengolahan Data Efisiensi OWC.....	37
4.3.2 Hasil dan Pembahasan Efisiensi OWC	37

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Efisiensi perangkat OWC dengan variasi kemiringan dinding depan.....	5
Tabel 2.2	Klasifikasi gelombang	9
Tabel 3.1	Dimensi Kanal Terbuka.....	22
Tabel 4.1	Data karakteristik gelombang	30
Tabel 4.2	Parameter perhitungan	32
Tabel 4.3	Daya udara pada kolom OWC	33



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Variasi kemiringan dinding depan OWC dan efisiensi maksimumnya	5
Gambar 2.2	Profil permukaan air (a) piston type (b) transient motion (c) sloshing type motion	6
Gambar 2.3	Grafik pengaruh tinggi gelombang yang ditransmisikan terhadap frekuensi Gelombang tidak berdimensi	8
Gambar 2.5	Perangkat sederhana pembuat gelombang jenis piston perairan dangkal menurut teori Galvin	12
Gambar 2.6	Teori perangkat pembuat gelombang	12
Gambar 2.7	Prinsip Kerja <i>Oscillating Water Column</i>	13
Gambar 2.8	Tekanan statik, dinamis, dan stagnasi	16
Gambar 2.9	(a) Bentuk penyempitan saluran, (b) Bentuk <i>elbow</i>	17
Gambar 2.10	Tabel <i>coefficient loss</i>	18
Gambar 3.1	Kanal Terbuka	22
Gambar 3.2	<i>Wave Maker</i>	23
Gambar 3.3	Perangkat OWC dengan variasi kemiringan dinding depan : (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, (d) 135, (e) 180°	23
Gambar 3.4	Arduino	24
Gambar 3.5	Sensor ultrasonik	24
Gambar 3.6	Anemometer	25
Gambar 3.7	Instalasi penelitian	25
Gambar 4.1	Grafik karakteristik gelombang	29
Gambar 4.2	Kecepatan udara pada saluran buang dengan kemiringan dinding depan 0°	32
Gambar 4.3	Grafik hubungan daya udara terhadap kemiringan dinding depan	34
Gambar 4.4	Grafik pengaruh tinggi permukaan air dalam kolom terhadap variasi kemiringan dinding depan OWC	35
Gambar 4.5	Profil permukaan kolom air pada kemiringan dinding 180°	36
Gambar 4.6	Hubungan efisiensi terhadap kemiringan dinding depan kolom OWC	37

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar *oscillating water column*
Lampiran 2 Data Hasil Penelitian



RINGKASAN

Syahrul Rozi Haqiqi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Studi Eksperimental Pengaruh Kemiringan Dinding Depan Kolom Air Terhadap Kinerja Perangkat Oscillating Water Column*, Dosen Pembimbing : Lilis Yulianti dan Winarto.

Oscillating Water Column (OWC) adalah suatu perangkat yang memanfaatkan naik turun permukaan air dengan memanfaatkan gelombang laut untuk memampatkan udara yang berada pada kolom. Udara bertekanan dialirkan ke saluran buang untuk memutar turbin. OWC merupakan perangkat yang praktis hanya berbentuk kolom yang diletakkan di laut lepas dalam keadaan terapung atau pada garis pantai. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja OWC adalah kemiringan dinding depan.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental nyata dengan memvariasikan kemiringan dinding depan, yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° . Sasaran dalam penelitian ini adalah daya udara yang dihasilkan melalui perangkat OWC, serta bagaimana pengaruh kemiringan dinding depan terhadap efisiensi perangkat OWC.

Hasil daya udara yang tertinggi ke terendah adalah 0° (0,267 watt), 45° (0,14 watt), 90° (0,106 watt), 135° (0,09 watt), dan 180° (0,074 watt). Semakin besar kemiringan dinding depan, maka semakin kecil daya udara yang dihasilkan. Begitu pula dengan nilai efisiensinya, karna efisiensi didapatkan dari membandingkan daya udara dan daya gelombang, dimana daya gelombang yang tercipta memiliki daya sebesar 1,259 watt, maka efisiensipun menurun dengan semakin besarnya kemiringan dinding depan.

Kata kunci : *Oscillating Water Column*

SUMMARY

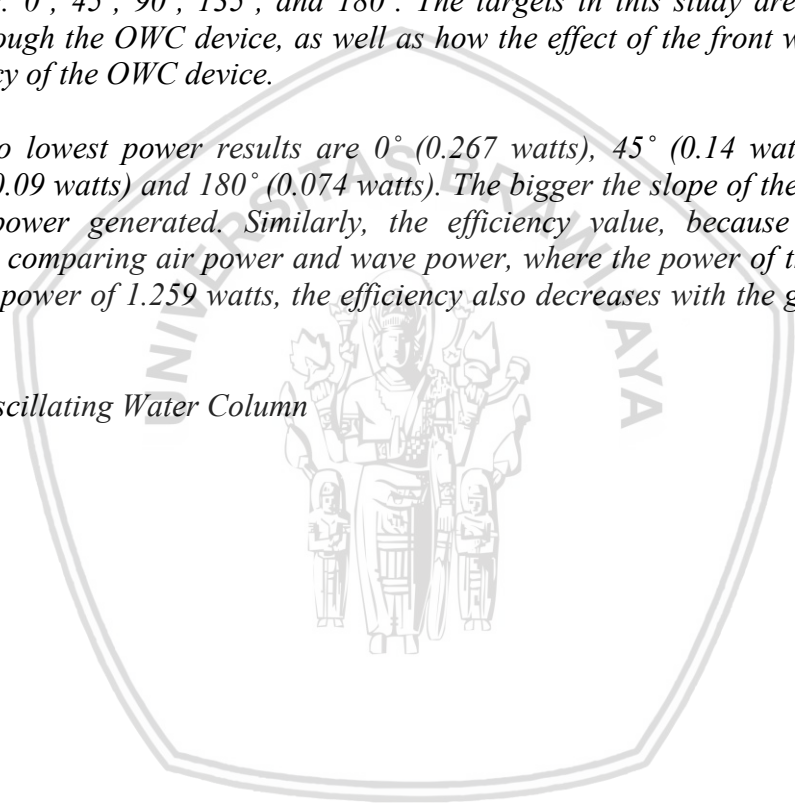
Syahrul Rozi Haqiqi, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Jun 2018, Experimental study on the effect of OWC front wall orientation to oscillating water column, Supervisor: Lilis Yuliati, Winarto.*

Oscillating Water Column (OWC) is a device used to compress air by utilizing sea waves to compress the air in the column. Pressurized air flowed into the exhaust to turn the turbine. OWC is a practical device used in coastal conditions. One of the factors affecting OWC is the slope of the front wall.

This experiment was done experimentally by varying the front wall orientation. The variations are: 0°, 45°, 90°, 135°, and 180°. The targets in this study are the air power generated through the OWC device, as well as how the effect of the front wall orientation to the efficiency of the OWC device.

Highest to lowest power results are 0° (0.267 watts), 45° (0.14 watts), 90° (0.106 watts), 135° (0.09 watts) and 180° (0.074 watts). The bigger the slope of the front wall, the smaller the power generated. Similarly, the efficiency value, because the efficiency obtained from comparing air power and wave power, where the power of the wave that is created has a power of 1.259 watts, the efficiency also decreases with the greater slope of the front wall.

Keywords : *Oscillating Water Column*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin meningkatnya populasi manusia seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi pasti semakin sulit dipisahkan dengan kebutuhan energi listrik. Karena itu energi listrik bagi pembangunan yang berkelanjutan merupakan tantangan besar yang dihadapi umat manusia. Kita semakin ditantang untuk menemukan sumber energi baru. Salah satu sumber energi yang belum banyak dimanfaatkan adalah energi gelombang laut. Energi ini tersedia melimpah sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Energi yang berasal dari gelombang laut adalah salah satu sumber energi terbarukan yang sangat menjanjikan, sebab dapat menghasilkan energi hampir di seluruh wilayah laut di permukaan bumi karena faktanya 2/3 bumi terdiri dari lautan.

Begitu pula Indonesia merupakan Negara maritim terbesar di dunia, yang 2/3 wilayahnya merupakan lautan. Wilayah lautan yang luas tentunya mempunyai potensi yang besar untuk pemanfaatan energi gelombang laut.

Adapun karakteristik gelombang laut yang baik untuk dimanfaatkan dengan perangkat OWC yaitu tinggi gelombang laut dan arah datang gelombang. Tinggi gelombang yang dapat dimanfaatkan adalah gelombang yang selalu terbentuk sepanjang tahun dengan tinggi minimal satu sampai dua meter. Arah datang gelombang yang dimaksud adalah searah dengan mulut OWC, karena jika tidak searah maka energi gelombang yang masuk akan berkurang sebab banyak yang hilang akibat sifat refleksi, difraksi, maupun refraksi gelombang.

Oscillating Water Column (OWC) adalah suatu perangkat yang memanfaatkan naik turun permukaan air dengan memanfaatkan gelombang laut untuk memampatkan udara yang berada pada kolom. Udara bertekanan dialirkan ke saluran buang untuk memutar turbin. OWC merupakan perangkat yang praktis hanya berbentuk kolom yang diletakkan di laut lepas dalam keadaan terapung atau pada garis pantai. Dengan tidak ada komponen bergerak pada OWC maka perawatan sangat mudah dan memiliki umur yang panjang.

Efisiensi konversi energi pada perangkat ini tergantung pada bentuk geometri dari perangkat, sistem saluran buang, dan karakteristik gelombang laut.

Geometri OWC yang mempengaruhi kinerja perangkat adalah tebal dinding depan, luas permukaan mulut OWC, kemiringan dinding depan, dan lebar perangkat OWC. Berdasarkan desain perubahan kemiringan dinding depan dari perangkat memberikan efek positif yang sangat signifikan karena dapat mempengaruhi efisiensinya (Liu dkk.,2010),

Penelitian kali ini akan membahas penggunaan *oscillating water column* (OWC) pada bak air dan pembuat gelombang buatan dengan variasi kemiringan dinding depan kolom terhadap tekanan udara yang dihasilkan dan pengaruhnya terhadap efisiensi perangkat OWC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kemiringan dinding depan OWC terhadap perubahan ketinggian permukaan air pada perangkat OWC?
2. Bagaimana pengaruh kemiringan dinding depan kolom air terhadap daya udara yang dihasilkan pada perangkat OWC?
3. Bagaimana pengaruh kemiringan dinding depan kolom air terhadap efisiensi perangkat OWC?

1.3 Batasan Masalah

1. Panjang dan tinggi gelombang dianggap konstan
2. Tekanan pada permukaan air diluar kolom konstan dan seragam
3. Udara di dalam kolom dianggap bersifat *incompressible*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh kemiringan dinding depan OWC terhadap perubahan ketinggian permukaan air pada perangkat OWC.
2. Mengetahui pengaruh kemiringan dinding depan kolom air terhadap daya udara yang dihasilkan pada perangkat OWC.
3. Mengetahui pengaruh kemiringan dinding depan kolom air terhadap efisiensi perangkat OWC.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan hasil pengaruh kemiringan sudut dasar kolom terhadap kinerja perangkat *oscillating water column* (OWC)
2. Menjadi perantara dan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *oscillating water coloumn*.
3. Dapat memberikan inovasi baru terhadap pemanfaatan energi gelombang laut.





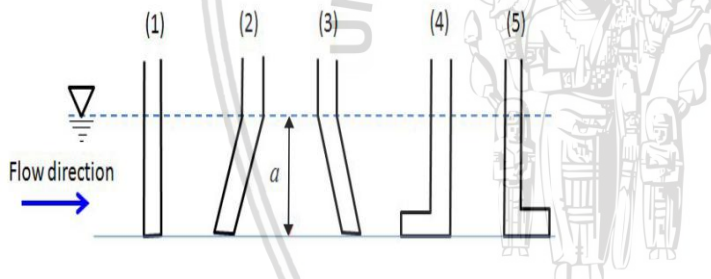
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Konsep dasar perangkat OWC ini adalah memanfaatkan energi kinetik dan energi potensial yang dimiliki oleh gelombang laut untuk mengangkat permukaan air dalam kolom air sehingga menekan udara dalam kolom udara yang menyebabkan kenaikan tekanan udara sehingga udara bergerak menuju saluran buang dimana terdapat turbin angin (Marjani, 2008)

Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan metode numerik, penggunaan kolom air berbentuk persegi dengan variasi kemiringan dinding depan yang terendam pada kedalaman tertentu, dengan variasi sudut 0° , 45° , 90° , dan 180° menghasilkan efesiensi maksimum terjadi pada sudut 0 yaitu maksimum sebesar 0,8181 (Bouali, 2013)



Gambar 2.1 Variasi kemiringan dinding depan OWC dan efisiensi maksimumnya.
Sumber : Bouali (2013, p.568)

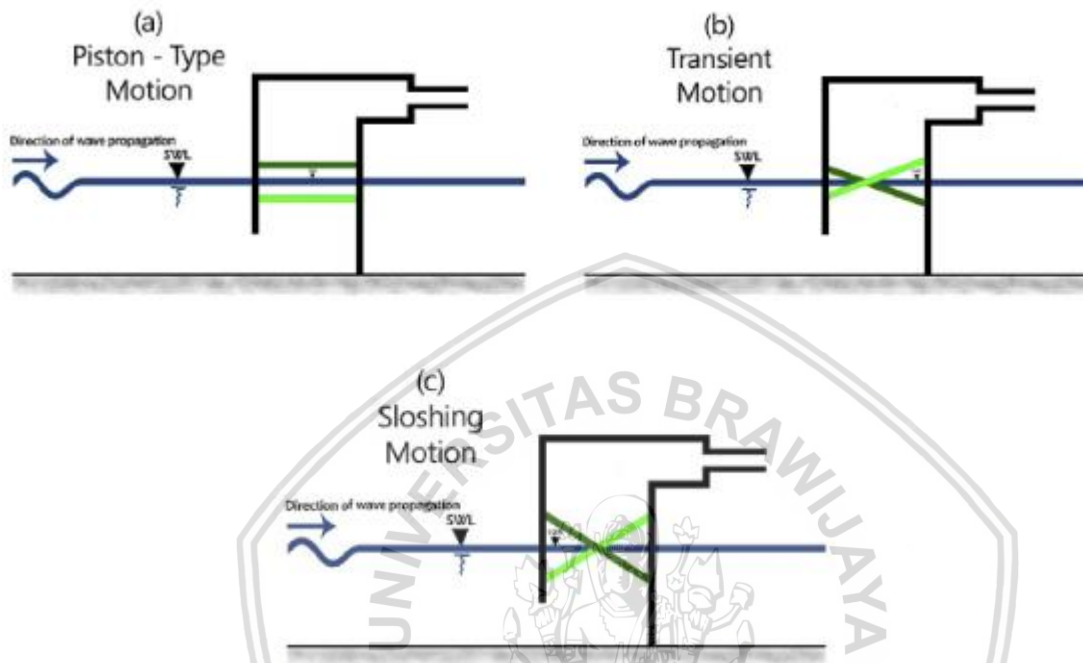
Tabel 2.1

Efisiensi perangkat OWC dengan variasi kemiringan dinding depan

Case	Average Efficiency	Max Efficiency
1 ($\alpha = 90^\circ$)	0,1543	0,4687
2 ($\alpha = 45^\circ$)	0,1528	0,5421
3 ($\alpha = -45^\circ$)	0,1202	0,4602
4 ($\alpha = 0^\circ$)	0,1697	0,8181
5 ($\alpha = 180^\circ$)	0,1517	0,5798

Sumber: Bouali (2013, p.571)

Selanjutnya dalam penelitian yang dilakukan secara eksperimental dan analisis ditemukan 3 tipe profil permukaan air yang terbentuk berdasarkan pergerakan naik turunnya permukaan air. Yaitu *piston-type motion*, *transient motion*, dan *sloshing motion* yang dapat dilihat pada gambar 2.2 (Çelik, 2018)



Gambar 2.2 Profil permukaan air (a) *piston type* (b) *transient motion* (c) *sloshing type motion*

Sumber : Çelik (2018,p.209)

Pada penelitiannya dengan memvariasikan empat karakteristik gelombang, dan tujuh variasi tinggi dinding depan kolom dengan kedalaman air konstan 60 cm. Didapatkan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi profil permukaan air ini tergantung dari frekuensi gelombang datang. Ketika nilai frekuensi gelombang datang lebih rendah dari suatu nilai tertentu maka profil permukaan air dalam kolom yang terbentuk adalah *piston type*, ketika nilai frekuensi gelombang melampaui nilai tersebut, maka profil permukaan air dalam kolom yang terbentuk adalah *sloshing type motion*. Adapun interval tertentu yang menyebabkan profil permukaan yang terbentuk adalah meliputi dua tipe profil permukaan air yang berbeda ini.

Tinggi gelombang yang ditransmisikan dirumuskan sebagai berikut

$$\mu = \frac{h}{H}$$

Dimana:

μ = Tinggi gelombang yang ditransmisikan

H = Tinggi gelombang (m)

h = Tinggi rata-rata fluktuasi permukaan kolom air (m)

Bukaan relatif kolom dirumuskan sebagai berikut

$$\alpha = \frac{x}{d}$$

Dimana:

α = Bukaan relatif kolom

d = Kedalaman air tenang

x = Tinggi bukan kolom

Nilai acuan untuk menentukan profil permukaan gelombang dirumuskan sebagai berikut

$$Kd = \frac{\omega^2}{g} d = kd \tanh(kd)$$

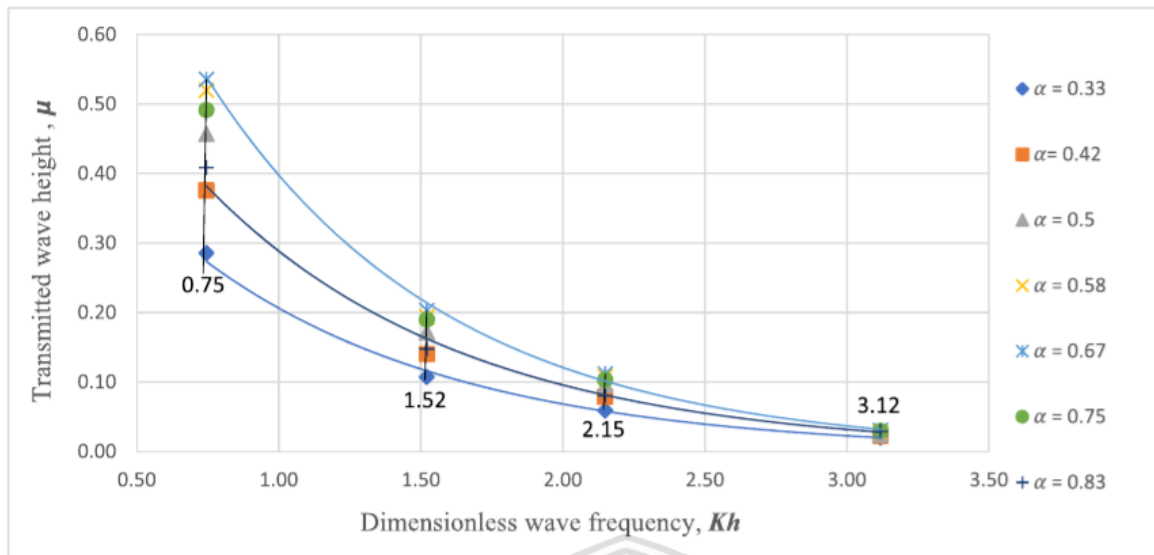
Dimana:

Kd = Frekuensi gelombang tanpa satuan

k = Nomor gelombang ($\frac{2\pi}{L}$)

ω = Frekuensi sudut dari gelombang datang

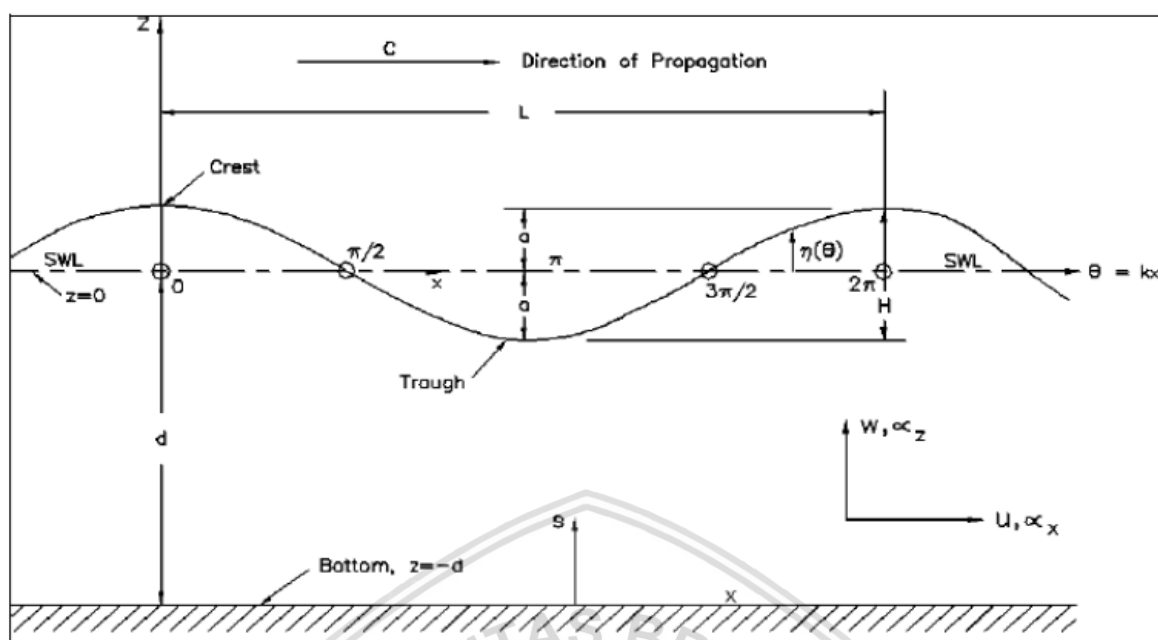
Didapatkan hasil bahwa semakin besarnya nilai Kh maka nilai μ akan berkurang sesuai dengan berubahnya pergerakan profil permukaan air yang bertipe *sloshing*. Didapatkan Kd dengan nilai 0,75 dan 1,52 pergerakan profil permukaan air adalah bertipe piston. Dengan nilai $1,52 < Kd < 2,15$ pergerakan profil permukaan air yang terbentuk adalah *transient*. Dan dengan nilai Kd 3,12 terbentuknya profil *sloshing motion*.



Gambar 2.3 Grafik pengaruh tinggi gelombang yang ditransmisikan terhadap frekuensi gelombang tidak berdimensi
 Sumber : Çelik (2018,p.209)

2.2 Karakteristik Gelombang

Dalam karakteristik suatu gelombang terdapat parameter penting untuk menjelaskan suatu gelombang antara lain adalah panjang gelombang (L), tinggi gelombang (H), dan kedalaman air (d), periode gelombang (T). Dari gambar 2.3 diperlihatkan skema propagasi gelombang dalam arah x . Panjang gelombang adalah jarak horizontal antara dua puncak yang berurutan, tinggi gelombang adalah jumlah ketinggian maksimum puncak disebut *crest* dan kedalaman maksimum lembah disebut *trough*. Tinggi gelombang bernilai $H = 2a$. Periode gelombang adalah waktu yang dibutuhkan untuk sekali osilasi, yaitu waktu yang diperlukan untuk terbentuknya satu *crest* dan satu *trough*. Hal penting lainnya pada gelombang yaitu kecepatan rambat gelombang (*celerity*) merupakan perbandingan antara panjang gelombang dengan periode gelombang (L/T).



Gambar 2.4 Karakteristik Gelombang
Sumber : Dean, dkk (1984,p.3)

Tabel 2.2
Klasifikasi gelombang

Klasifikasi	Shallow	Transitional	Deep
$\frac{d}{L}$	$< \frac{1}{20}$	$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{2}$
kd	$< \frac{\pi}{10}$	$\frac{\pi}{10} < kd < \pi$	$> \pi$
C	\sqrt{gd}	$\frac{gT}{2\pi} \tanh(kd)$	$\frac{gT}{2\pi}$
c_g	$c_g = C$	$\frac{L}{2T} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right]$	$\frac{c}{2}$

Sumber: *Water wave mechanic for engineering and scientific* (1991)

2.3 Energi Gelombang

Gelombang yang bergerak selain menimbulkan pergerakan partikel, juga dapat memberikan energi gelombang. Energi gelombang dibedakan atas dua jenis, yaitu energi kinetik dan energi potensial. Energi kinetik terjadi karena seluruh partikel air bergerak akibat gerak gelombang. Sedangkan energi potensial terjadi karena adanya perpindahan muka air karena gerakan gelombang. Untuk mendapatkan persamaan energi gelombang, diasumsikan suatu elemen dengan volume berukuran $dx \cdot dz \cdot 1$ dengan berat jenis ρ dan dengan massa

dm. karena adanya kecepatan partikel dalam arah u dan w , elemen tersebut akan menghasilkan energi kinetik sebagai berikut,

$$dE_k = \frac{1}{2} dm \cdot V^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$dE_k = \frac{1}{2} [\rho \cdot dx \cdot dz \cdot 1] (u^2 + w^2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk menyelesaikan persamaan (2.2), maka dapat dilakukan dengan cara mengintegrasikan persamaan sebagai berikut,

$$dE_k = \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} [\rho \cdot dx \cdot dz \cdot 1] (u^2 + w^2) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan persamaan kecepatan arah horizontal zat cair dan arah vertikal zat cair

$$u = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$w = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.4) dan (2.5) ke dalam (2.3) maka diperoleh persamaan:

$$E_k = \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} \left(\left(\frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \right)^2 + \left(\frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \right)^2 \right) \rho \cdot 1 \cdot dx \cdot dz \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

d = Jarak antara muka air tenang dan dasar laut (m)

k = Bilangan gelombang

σ = Frekuensi gelombang (Hz)

H = Tinggi gelombang (m)

L = Panjang gelombang (m)

T = Periode gelombang (s)

Dari persamaan (2.6) dapat disusun bentuk persamaan dan diselesaikan sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut,

$$\overline{E_k} = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan (2.7) merupakan persamaan energi kinetik gelombang untuk teori gelombang amplitude kecil.

Apabila energi potensial dari gelombang dikurangi dengan energi gelombang dari massa air diam, maka akan didapat energi potensial yang disebabkan oleh gerak gelombang. Dengan asumsi bahwa dasar laut sebagai bidang referensi maka energi potensial yang ditimbulkan oleh panjang gelombang untuk setiap satuan lebar puncak gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$\overline{(PE)}_{waves} = \overline{(PE)}_T - \overline{(PE)}_{w/o} \dots\dots\dots (2.9)$$

Atau

$$\overline{(PE)}_{waves} = \overline{(PE)} = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dari persamaan energi potensial diatas untuk mendapatkan energi total rata-rata untuk setiap satuan luas permukaan gelombang maka dijumlahkan dengan energi kinetik.

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2}{8} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.4 Pembuat Gelombang (*wave marker*)

Di perairan dangkal, teori sederhana untuk pembangkitan gelombang oleh perangkat pembuat gelombang diusulkan oleh Galvin (1964), yang beralasan bahwa air yang dipindahkan oleh perangkat gelombang harus sama dengan volume bentuk puncak gelombang merambat. Misalnya, perangkat pembuat gelombang piston dengan langkah (S) yang konstan sepanjang kedalaman air (h). Perpindahan volume air ke atas dari seluruh langkah adalah S.h seperti dinyatakan pada gambar 2.4. Volume air dalam puncak gelombang adalah $\int_0^{L/2} \left(\frac{H}{2}\right) \sin kx \, dx = \frac{H}{k}$

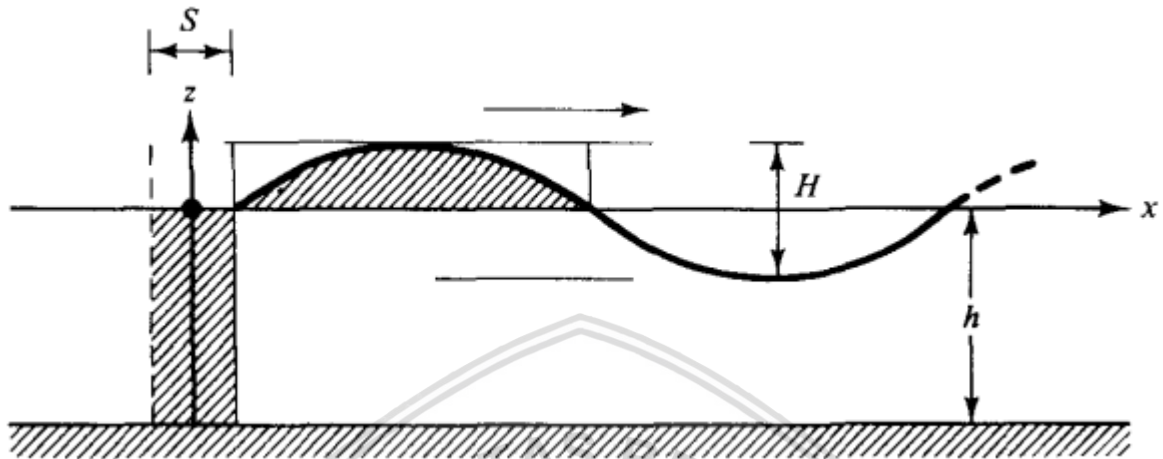
Samakan kedua volume tersebut, maka : $S.h = \frac{H}{k} = \frac{H}{2} \left(\frac{L}{2}\right) \frac{2}{\pi}$, dimana factor $2/\pi$ merupakan rasio dari daerah yang diarsir ke daerah yang membentuk persegi panjang, yaitu daktor area. Persamaan ini juga bisa dinyatakan dalam bentuk :

$$\left(\frac{H}{S}\right)_{piston} = kd \dots\dots\dots (2.18)$$

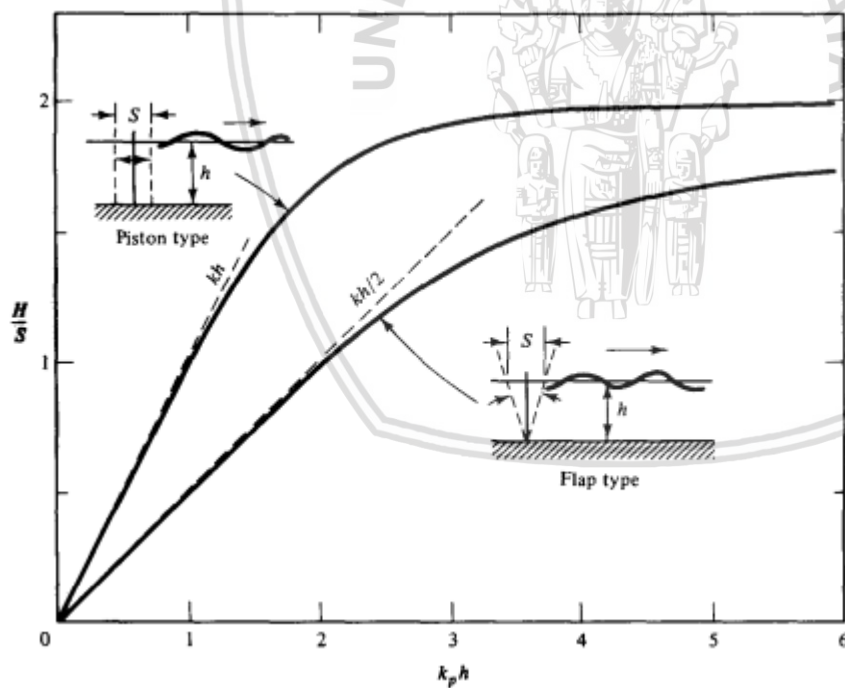
dimana H/S adalah rasio tinggi gelombang terhadap langkah piston. Hubungan ini berlaku di perairan dangkal, $kd < \pi/10$. Untuk penutup perangkat pembuat gelombang yang berengsel di bagian bawah, volume air yang dipindahkan oleh perangkat pembuat gelombang akan berkurang yang dinyatakan dalam bentuk :

$$\left(\frac{H}{S}\right)_{\text{flap}} = \frac{kd}{2} \dots\dots\dots (2.19)$$

Kedua hubungan di atas ditunjukkan oleh garis putus-putus pada gambar 2.5



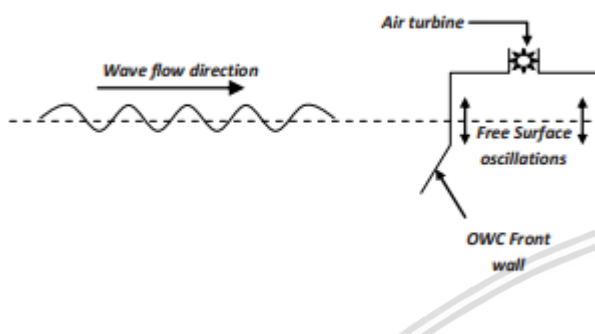
Gambar 2.5 Perangkat sederhana pembuat gelombang jenis piston perairan dangkal menurut teori Galvin
Sumber : Dean, dkk (1991, p.171)



Gambar 2.6 Teori perangkat pembuat gelombang
Sumber : Dean, dkk (1991, p.172)

2.5 Oscillating Water Column (OWC)

Oscillating water column (OWC) adalah sebuah perangkat yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan turbin sebagai penggerak generatornya. Mekanisme kerja OWC ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.7 Prinsip kerja *oscillating water column*
Sumber: Bouali (2013, p.566)

Prinsip kerja alat OWC ini adalah mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik berdasarkan prinsip osilasi. Gelombang datang dari arah laut masuk kedalam kolom air OWC ini dimana pada bagian bawah perangkat ini terdapat pintu untuk masuknya air, karena tekanan yang dimiliki oleh gelombang air laut ini maka air laut yang terdapat pada bagian kolom air OWC akan berosilasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa kompresi dan dekompresi udara pada kolom udara. Kompresi dan dekompresi udara pada kolom udara menjadi penggerak *runner* pada turbin.

Ada tiga aspek yang harus diperhitungkan untuk mengetahui efesiensi pada perangkat OWC, yaitu karakteristik gelombang, geometri saluran buang dan saluran buang. Karakteristik gelombang laut berpengaruh karna daya yang diserap oleh OWC adalah energi gelombang laut .Karakteristik gelombang yang mempengaruhi kinerja OWC meliputi kecepatan gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan amplitudo gelombang. Besarnya daya yang dimiliki gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P_w = \bar{E} \cdot C_g \cdot b$$

$$P_w = \left(\frac{1}{8} \rho_w g H^2\right) \cdot (\sqrt{gd}) \cdot b$$

Dimana :

P_w = Daya air gelombang (Watt)

ρ_w = Massa jenis air ($\frac{kg}{m^3}$)

g = Gravitasi bumi ($\frac{m}{s^2}$)

H = Ketinggian gelombang (m)

T = Periode gelombang (s)

b = Lebar geometri OWC, yang tegak lurus dengan arah gelombang laut masuk (m)

d = Jarak antara muka air tenang dan dasar laut (m)

Selain karakteristik gelombang, hal yang berpengaruh terhadap kinerja OWC adalah geometri OWC. Geometri OWC dapat membuat sebuah langkah kompresi udara dengan optimal. Beberapa geometri yang berpengaruh dalam OWC antara lain bentuk *chamber*, kemiringan dinding depan OWC, luas permukaan sisi masuk air dan sebagainya. Untuk mengetahui geometri mana yang paling optimal dapat diperoleh dari sebuah eksperimen.

Kinerja OWC dapat mencapai nilai yang optimal apabila menggunakan letak dan ukuran saluran buang yang sesuai. Saluran buang dapat mempengaruhi tekanan yang keluar dari ruang *chamber*. Rumus daya udara hasil kompresi di ruang *chamber* adalah sebagai berikut

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q$$

$$P_{owc} = \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) \cdot \left(v \cdot \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

Dimana :

P_{owc} = Daya yang dihasilkan OWC (Watt)

ρ_a = Massa jenis udara ($\frac{kg}{m^3}$)

v = Kecepatan udara di saluran buang ($\frac{m}{s}$)

Keuntungan perangkat OWC untuk mengkonversi energi gelombang laut adalah konstruksi yang sederhana. Kontruksi yang tidak memiliki bagian bergerak mengakibatkan perawatan mudah. Kontruksi perangkat OWC juga mudah dalam peletakan seperti penggunaan dapat diletakkan pada garis pantai, dekat pantai maupun lepas pantai.

2.6 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli adalah hubungan antara tekanan, kecepatan, dan elevasi yang mana memiliki 6 syarat berlakunya persamaan ini, yaitu:

- a. Aliran *steady* (*steady flow*)
- b. Aliran tanpa gesekan (*frictionless flow*)
- c. Tidak ada kerja poros (*no shaft work*)
- d. Aliran *incompressible* (*incompressible flow*)
- e. Tidak ada perpindahan panas (*no heat transfer*)
- f. Aliran menurut garis arus (*flow along a streamline*)

Berikut adalah penurunan dari persamaan Bernoulli

- Persamaan energi :

$$m \cdot g \cdot z + P \cdot V + \frac{mv^2}{2} = c$$

$$m \cdot g \cdot z + P \cdot \frac{m}{\rho} + \frac{mv^2}{2} = c$$

- Persamaan energi spesifik tiap satuan massa:

$$g \cdot z + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = c \quad \left(\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} \right)$$

- Persamaan energi spesifik tiap satuan berat (*head*):

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = c \quad (\text{m})$$

- Persamaan bernoulli umumnya ditulis dalam bentuk :

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dimana :

$$z = \text{head elevasi}$$

$$\frac{P}{\rho \cdot g} = \text{head tekanan}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{head kecepatan}$$

2.7 Tekanan Statik, Stagnasi, dan Dinamik

Untuk mengukur tekanan statik, seseorang dapat ikut bergerak bersama fluida, sehingga menjadi “statik” relatif terhadap fluida yang bergerak. Cara lain mengukur tekanan statik adalah dengan membuat sebuah lubang pada permukaan rata dan memasang tabung sebuah piezometer seperti gambar 2.6

Tekanan Stagnasi adalah tekanan fluida yang diukur pada aliran fluida yang diperlambat sampai diam, $V = 0$ dengan kondisi aliran tanpa gesekan. Pengukuran tekanan stagnasi pada

tabung pitot diukur oleh lubang kecil di mulut tabung yang akan tepat tegak lurus terhadap garis arus dari aliran. Untuk aliran tak mampu mampat dapat diterapkan persamaan Bernoulli pada kondisi tanpa perubahan ketinggian. Jika P adalah tekanan statik pada penampang dengan kecepatan fluida adalah V dan P_0 adalah tekanan stagnasi dimana kecepatan stagnasi aliran fluida V_0 adalah 0, maka dapat dihitung :

$$P_0 = P + \rho \frac{V^2}{2}$$

Dimana :

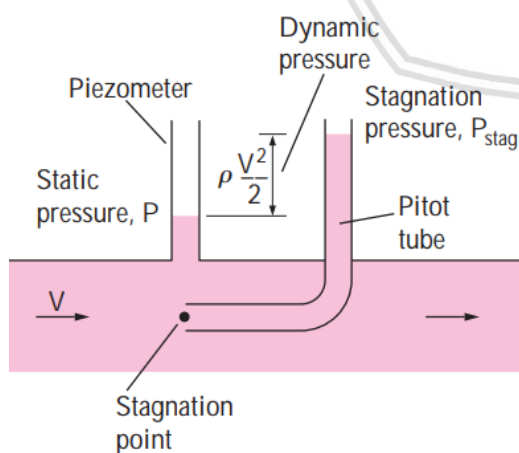
P_0 = tekanan stagnasi (Pa)

P = tekanan static (Pa)

ρ = massa jenis fluida (kg/cm^3)

V = kecepatan fluida (m/s)

Tekanan dinamik ($\rho \frac{V^2}{2}$) adalah tekanan akibat kecepatan fluida, yakni selisih antara tekanan statik dengan tekanan stagnasi. maka pengukuran tekanan statis dan tekanan stagnasi dengan tabung pitot dapat juga sekaligus mengukur tekanan dinamisnya. Penerapan yang lain dari persamaan ini adalah perubahan tekanan dinamis menjadi kecepatan fluida dengan kondisi aliran tak mampu mampat.



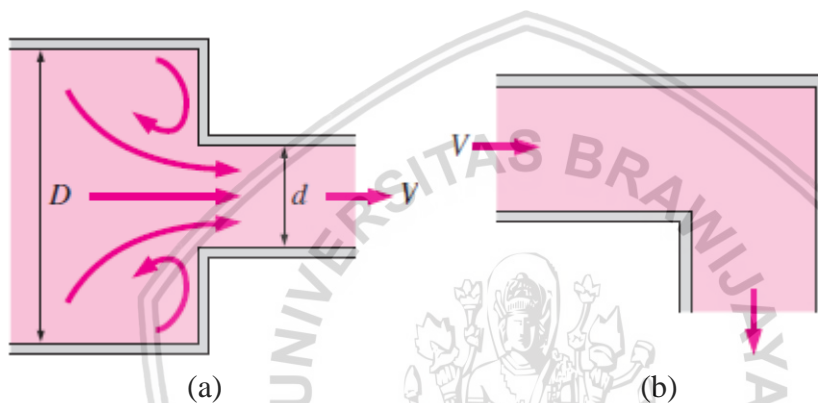
Gambar 2.8 Tekanan statik, dinamis, dan stagnasi

Sumber: Cengel (2004, p.189)

2.8 Kerugian Tekanan Aliran dalam Pipa (*Head Loss*)

Head loss (HL) merupakan suatu nilai untuk mengetahui seberapa besarnya reduksi tekanan total (total head) yang diakibatkan oleh fluida saat melewati sistem pengaliran. Kerugian tinggi tekan (*head loss*) dapat dibedakan atas kerugian gesekan dalam saluran (*major loss*) dan (*minor losses*).

Minor losses disebabkan oleh alat-alat pelengkap lokal, atau yang diberi istilah tahanan hidrolis. Diantaranya yaitu perubahan bentuk saluran atau perubahan ukurannya. Contoh dari beberapa alat - alat pelengkap lokal adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 (a) Bentuk penyempitan saluran, (b) Bentuk *elbow*
Sumber : Cengel (2004, p.350)

$$h_l = k \frac{v^2}{2g}$$

Dimana :

h_l = Kerugian aliran (m)

k = Koefisien hambatan

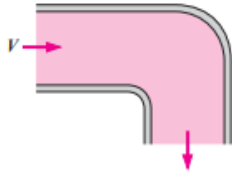
v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gravitasi (m/s^2)

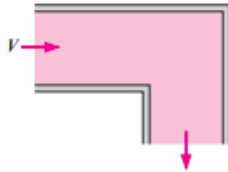
TABLE 8-4 (CONCLUDED)

Bends and Branches

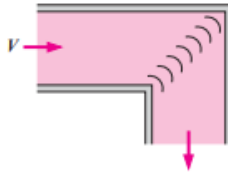
90° smooth bend:
Flanged: $K_L = 0.3$
Threaded: $K_L = 0.9$



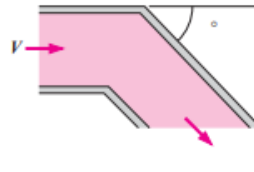
90° miter bend
(without vanes): $K_L = 1.1$



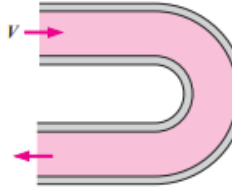
90° miter bend
(with vanes): $K_L = 0.2$



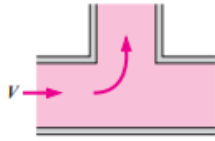
45° threaded elbow:
 $K_L = 0.4$



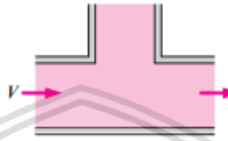
180° return bend:
Flanged: $K_L = 0.2$
Threaded: $K_L = 1.5$



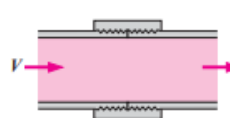
Tee (branch flow):
Flanged: $K_L = 1.0$
Threaded: $K_L = 2.0$



Tee (line flow):
Flanged: $K_L = 0.2$
Threaded: $K_L = 0.9$



Threaded union:
 $K_L = 0.08$

**Valves**

Globe valve, fully open: $K_L = 10$
Angle valve, fully open: $K_L = 5$
Ball valve, fully open: $K_L = 0.05$
Swing check valve: $K_L = 2$

Gate valve, fully open: $K_L = 0.2$
1/2 closed: $K_L = 0.3$
3/4 closed: $K_L = 2.1$
Fully closed: $K_L = 17$

* These are representative values for loss coefficients. Actual values strongly depend on the design and manufacture of the components and may differ from the given values considerably (especially for valves). Actual manufacturer's data should be used in the final design.

Gambar 2.10 Tabel coefficient loss

Sumber : Cengel (2004, P.351)

Kerugian dalam pipa atau *major losses* merupakan kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran dengan pipa sepanjang lintasan. Kerugian gesekan untuk perhitungan aliran didalam pipa pada umumnya dipakai persamaan (Fox dan Mc. Donald, 1995).

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Dimana :

 h_f = Mayor losses (m)

f = Koefisien gesekan

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter pipa (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gravitasi (m/s²)

2.9 Hipotesis

Kemiringan dinding depan kolom air sangat berpengaruh terhadap efisiensi perangkat OWC. Dengan merubah kemiringan dinding depan kolom air terhadap arah datang gelombang maka perubahan arah aliran air juga akan berbeda. Dengan semakin kecil kemiringan dinding depan, maka semakin baik perubahan arah aliran air yang terbentuk. Ketika perubahan arah aliran air semakin baik, maka nilai perubahan ketinggian kolom air akan meningkat. Dengan peningkatan nilai perubahan ketinggian kolom air, maka daya udara yang dihasilkanpun meningkat. Daya udara meningkat berpengaruh pada peningkatan efisiensi. Sehingga dengan semakin kecilnya kemiringan dinding depan, maka efisiensi perangkat OWC juga meningkat.





BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental nyata (*true experimental research*), yaitu melakukan penelitian secara langsung terhadap objek untuk mendapatkan data melalui proses eksperimen. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai dengan selesai.

3.1 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, variabel-variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

Adalah variabel yang nilainya dapat diubah dan tidak di pengaruhi oleh variabel lain, variabel bebas dalam penelitian ini adalah kemiringan dinding depan kolom air perangkat OWC, yang mana variasi dari kemiringan dinding depan yaitu :

- a. $\alpha = 0^\circ$
- b. $\alpha = 45^\circ$
- c. $\alpha = 90^\circ$
- d. $\alpha = 135^\circ$
- e. $\alpha = 180^\circ$

2. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah daya udara pada perangkat OWC, dan efisiensi perangkat OWC

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dijaga agar tetap konstan selama penelitian. Variabel terkontrol yang digunakan antara lain :

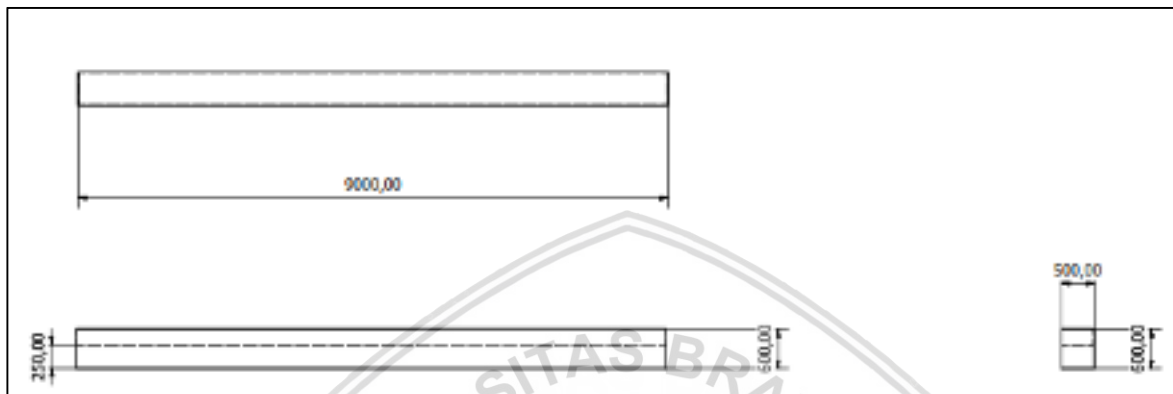
- a. Tinggi air tenang : 25 cm
- b. Kedalaman dinding depan kolom : 10 cm

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut

1. Kanal terbuka

Kanal terbuka adalah tempat penampung air yang memiliki dimensi seperti gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Kanal Terbuka

Tabel 3.1

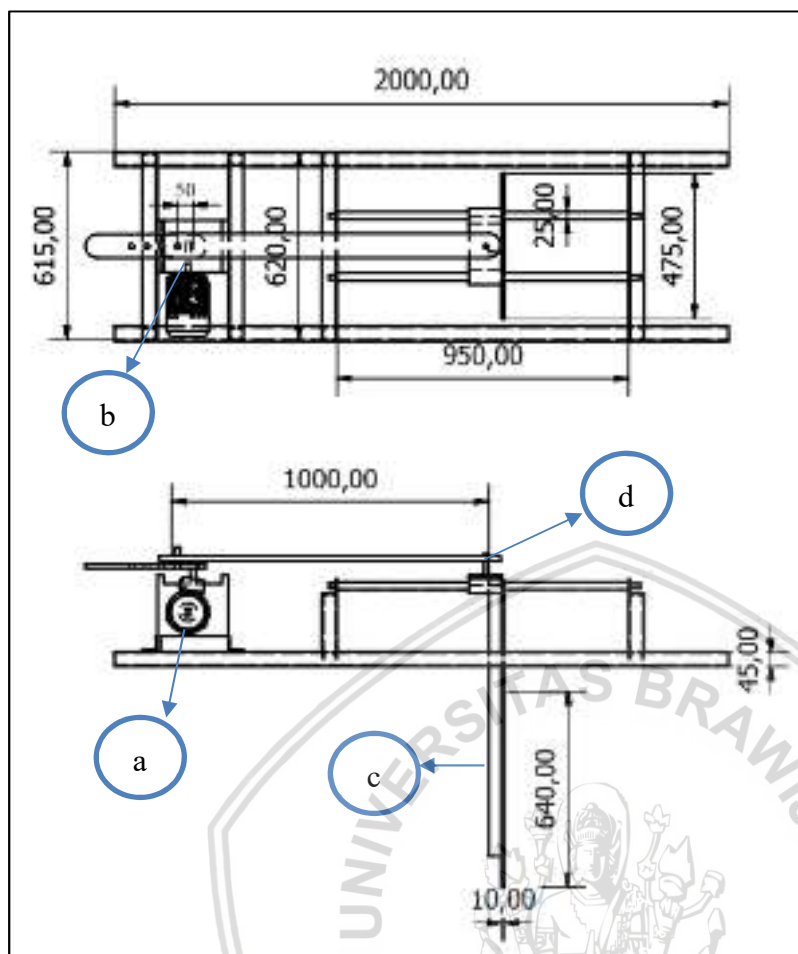
Dimensi Kanal Terbuka

Panjang Kanal (mm)	Lebar Kanal (mm)	Tinggi Kanal (mm)	Kedalaman air (mm)
9000	500	600	250

2. Wave Maker

Wave maker berfungsi sebagai pembuat gelombang pada air. *Wave maker* dapat diatur untuk mendapatkan karakteristik gelombang yang diinginkan. Gambar 3.2 menunjukkan ukuran perangkat *Wave Maker* dalam satuan millimeter dengan bagian-bagian dari *wave maker* yaitu:

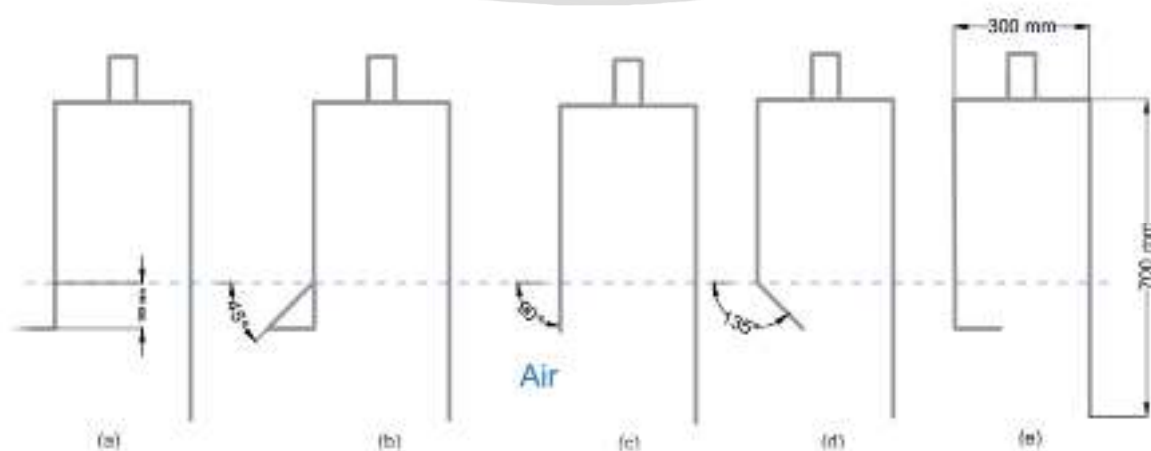
- Motor listrik (Tegangan : 220/380 V, Daya : 2 HP, kecepatan : 1420 rpm)
- Gearbox ratio* 14:1
- Lengan pendorong
- Papan pendorong air



Gambar 3.2 Wave Maker

3. Perangkat OWC

Perangkat OWC adalah alat yang berfungsi untuk mengkonversi energi gelombang air menjadi energi tekanan.



Gambar 3.3 Perangkat OWC dengan variasi kemiringan dinding depan : (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, (d) 135°, (e) 180°

4. Arduino (UNO R3)

Arduino adalah sebuah chip yang menjadi mikrokontroler yang dapat mengatur komponen lain yang terhubung dengan nya. Arduino nanti dihubungkan oleh sensor untuk menjadikan sebagai alat ukur. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Chip mikrokontroler : ATmega328P
- Tegangan operasi : 5V
- Analog input pin sebanyak 6 buah
- Dimensi : 68.6 mm x 53.4 mm



Gambar 3.4 Arduino

5 Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Sensor ultrasonic berfungsi sebagai mengukur ketinggian permukaan gelombang laut. Spesifikasi dari sensor HC-SR04 sebagai berikut:

- Range jarak antara 2cm – 300cm
- Tingkat kepresisian pengukuran jarak $\pm 3\text{mm}$
- Ketelitian pengukuran 0.05mm
- Dimensi modul 45mm x 20mm



Gambar 3.5 Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

6 Anemometer (Lutron lm-8010)

Anemometer berfungsi sebagai pengukur kecepatan udara pada saluran buang. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

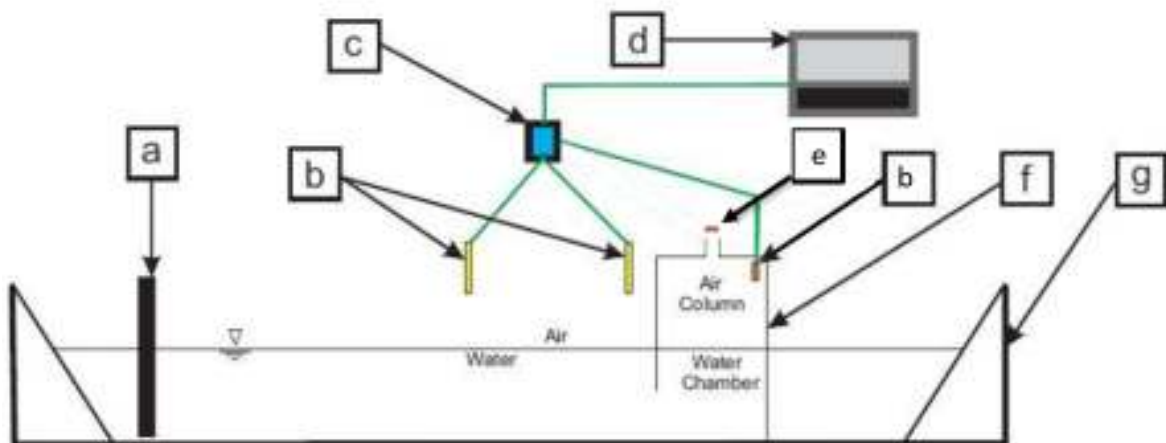
- Operasi kelembapan maksimal 80%RH
- Operasi suhu 0 sampai 50° C (32 to 122° F)
- Dimensi : 156 x 60 x 33 mm (6.14 x 2.36 x 1.29 inch)
- Pengukuran kecepatan maksimal 30m/s



Gambar 3.6 Anemometer

3.3 Instalasi Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang sudah dijelaskan di atas. Berikut adalah instalasi dari penelitian ini:



Gambar 3.7 Instalasi penelitian

Keterangan:

- a. *Wave maker*
- b. Sensor *ultrasonik*
- c. Arduino
- d. Komputer
- e. Anemometer
- f. *Oscillating water column*
- g. Kanal terbuka

3.4 Metode Pengambilan Data

Pengujian dimulai dengan pemasangan alat yang dirangkai sesuai dengan fungsinya masing-masing. Semua alat uji yang terpasang dipastikan telah berfungsi dengan baik. Untuk menghasilkan gelombang dengan amplitudo yang diinginkan atur kecepatan dan panjang langkah *wave maker*. Pengujian pertama dilakukan tanpa pemasangan perangkat OWC, dengan sensor ultrasonik yang dipasang, maka didapatkan data tinggi gelombang yang terbentuk tiap waktunya pada 2 titik pengukuran. Perpindahan muka air akibat gelombang pada kolom juga diukur dengan sensor ultrasonik yang dipasangkan. Dengan adanya perubahan tekanan pada kolom, maka kecepatan udara yang melewati saluran buang diukur menggunakan anemometer. Semua hasil pengukuran dicatat pada tabel data yang telah disiapkan.

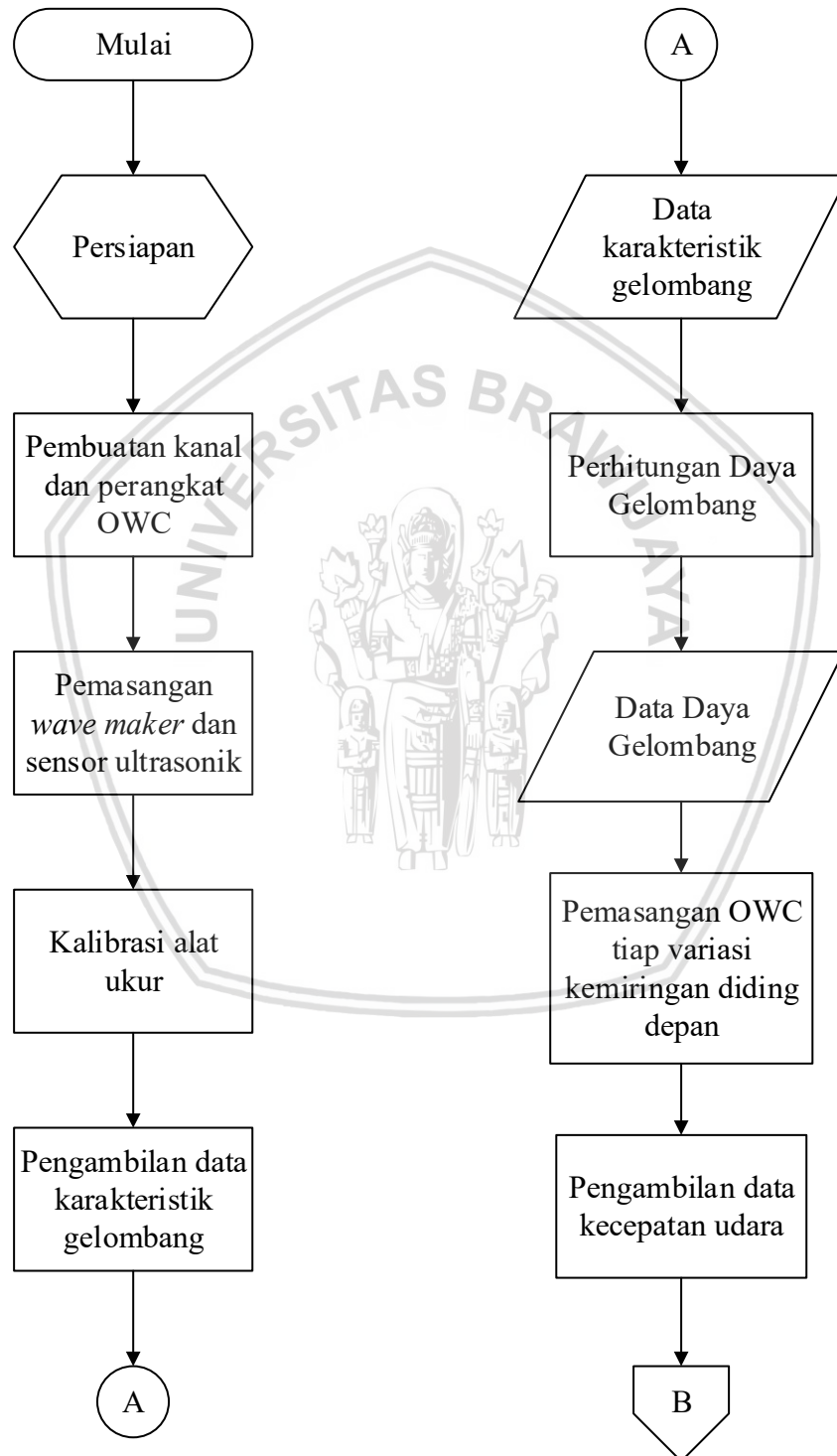
Sasaran pengujian pertama adalah daya gelombang pada kolom air yang disebabkan oleh karakteristik gelombang yaitu panjang gelombang, tinggi gelombang, dan periode gelombang yang disajikan dalam bentuk tabel. Untuk mendapatkan data tersebut perlu diambil data ketinggian gelombang yang terbentuk terlebih dahulu. Setelah didapatkan data ketinggian gelombang, kemudian dibuat grafik karakteristik gelombang. Dengan grafik karakteristik gelombang inilah nantinya bisa mendapatkan table karakteristik gelombang yang berguna dalam perhitungan daya gelombang

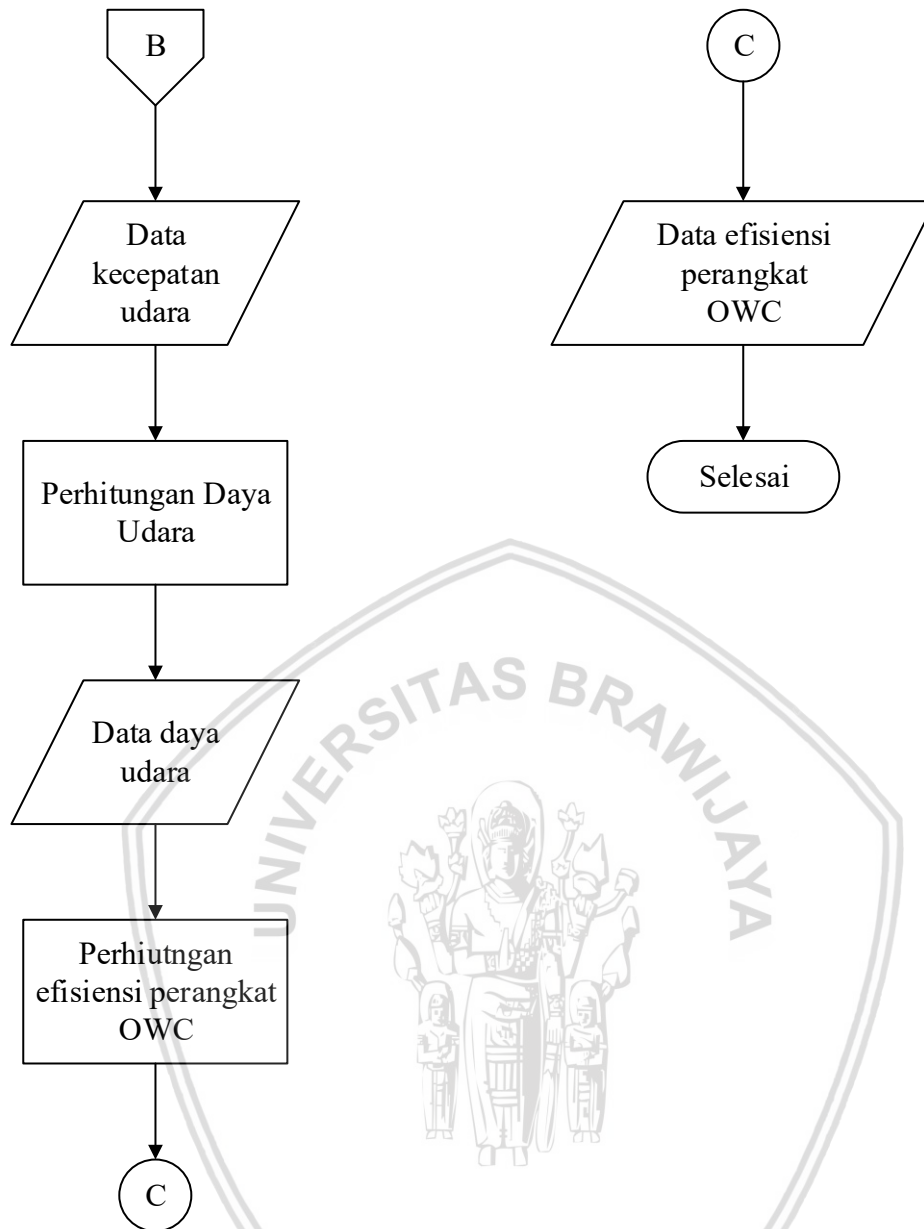
Sasaran selanjutnya adalah kecepatan udara pada saluran buang yang dikontrol oleh kemiringan dinding depan kolom air perangkat OWC yang disajikan dalam bentuk tabel.

Kemudian setelah melakukan pengambilan data kecepatan udara dan dengan melakukan perhitungan, didapatkan grafik daya udara. Untuk mendapatkan nilai efisiensi dari perangkat OWC adalah dengan membandingkan daya udara dan daya gelombang. Dimana nilai daya gelombang akan konstan karena menggunakan satu karakteristik gelombang dengan

mengasumsikan panjang, tinggi, dan perioda gelombangnya tetap. Maka didapatkan grafik efisiensi perangkat OWC terhadap pengaruh kemiringan dinding depan kolom air.

3.5 Diagram Alir Penelitian





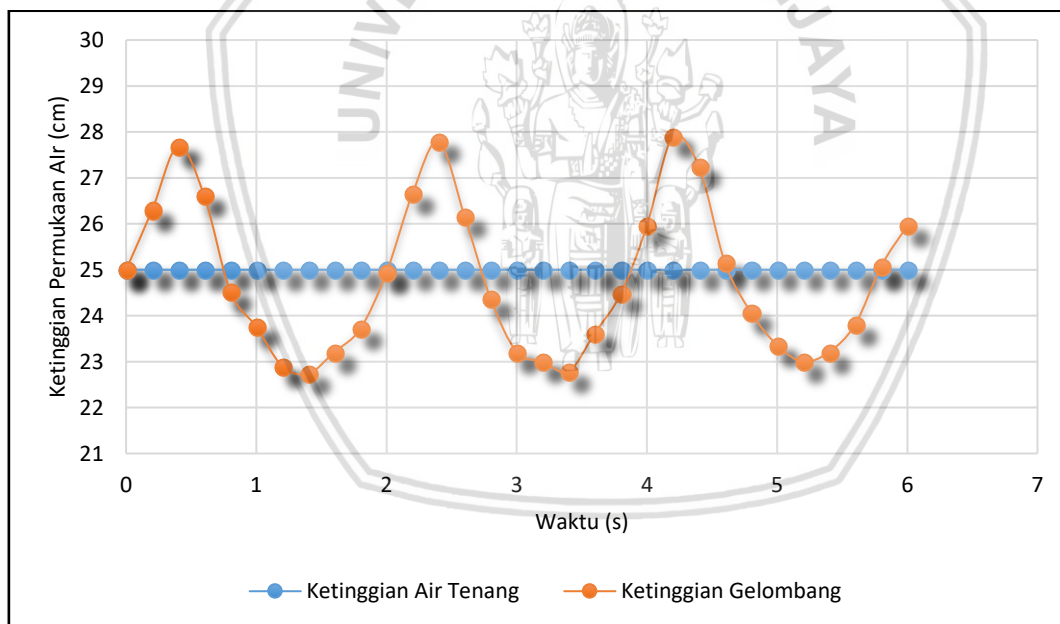
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Gelombang

4.1.1 Hasil dan Pembahasan Karakteristik Gelombang

Untuk mengetahui karakteristik gelombang dilakukan pengambilan data terlebih dahulu. Pengambilan data dilakukan tanpa pemasangan kolom OWC agar mendapatkan karakteristik gelombang yang sebenarnya. Data yang diambil berupa tinggi gelombang dengan menggunakan sensor ultrasonik. Kemudian didapatkan grafik karakteristik gelombang sebagai berikut



Gambar 4.1 Grafik karakteristik gelombang

Data yang ditampilkan berupa grafik hubungan waktu terhadap tinggi gelombang. Data diambil ketika gelombang sudah mencapai kondisi *steady* dilihat dari tinggi gelombang yang terbentuk. Dimana pada sumbu X menunjukkan waktu pengambilan data, sedangkan pada sumbu Y tinggi gelombang yang tercipta. Didapat grafik seperti gambar berikut ini.

Terlihat pada grafik di atas butuh waktu yang lebih lama untuk gelombang turun di bawah ketinggian air tenang, namun butuh waktu yang lebih cepat untuk gelombang naik di atas ketinggian air tenang. Pada grafik juga dapat dilihat bahwa puncak gelombang dapat memiliki ketinggian 3 cm di atas air tenang dan lembah memiliki kedalaman 2 cm di bawah air tenang. Hal ini dikarenakan untuk membentuk lembah gelombang hanya menggunakan gaya gravitasi dan massa air dalam kolom, dan dengan terhadang oleh air yang berada di bawah sehingga air akan sulit untuk membentuk lembah lebih dalam. Namun untuk membentuk puncak gelombang yang awalnya air tenang diberi energi langsung dari *wave maker*, dimana energi ini berupa energi mekanik poros dari motor yang dirubah menjadi gerak translasi untuk mendorong papan akrilik. Kemudian energi tersebut langsung diubah menjadi energi potensial dan energi kinetik pada gelombang.

Dengan adanya grafik ini maka dapat diketahui pula panjang gelombang, tinggi gelombang, amplitudo gelombang, dan periode gelombang yang tercipta. Data ini disajikan dalam tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1

Data karakteristik gelombang

No.	Data	Nilai
1.	Kedalaman air (d)	0.25 m
2.	Panjang gelombang (L)	3 m
3.	Tinggi gelombang (H)	0.05 m
4.	Amplitudo gelombang (A)	0.03 m
5.	Periode gelombang (T)	2 s

4.1.2 Pengolahan Data Daya Gelombang Air

Daya gelombang adalah daya yang digunakan untuk melakukan proses kompresi dan dekompresi udara ada kolom. Dimana salah satu faktor yang berpengaruh adalah energi gelombang itu sendiri. Energi gelombang ini terdiri dari energi kinetik dan energi potensial. Berikut perhitungan daya gelombang dengan menggunakan data karakteristik gelombang pada tabel 4.1.

1. Nomor gelombang

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

$$k = \frac{2 \cdot 3,14}{3}$$

$$k = 2,093$$

2. Klasifikasi gelombang

$$\frac{d}{L} = \frac{0,25}{3} = 0,083$$

$$\frac{d}{L} = x ; \frac{1}{20} < x < \frac{1}{2}$$

Dengan nilai $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$, maka gelombang yang terbentuk termasuk dalam klasifikasi gelombang jenis transitional (wave mechanic).

3. Kecepatan tiap gelombang gelombang

$$\begin{aligned} C &= \frac{gT}{2\pi} \tanh(kd) \\ &= \frac{9,8 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} \tanh(2,093 \cdot 0,25) \\ &= 1,5241 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. Kecepatan grup gelombang

$$\begin{aligned} c_g &= \frac{L}{2T} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \\ &= \frac{3}{2 \cdot 2} \left[1 + \frac{2 \cdot 2,093 \cdot 0,25}{\sinh(2 \cdot 2,093 \cdot 0,25)} \right] \\ &= 1,37 \text{ m/s} \end{aligned}$$

5. Energi total rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \bar{E}_k + \bar{E}_p = \frac{\rho g H^2}{8} \\ &= \frac{997 \cdot 9,807 \cdot 0,05^2}{8} \\ &= 3,0554 \text{ kg/s}^2 \end{aligned}$$

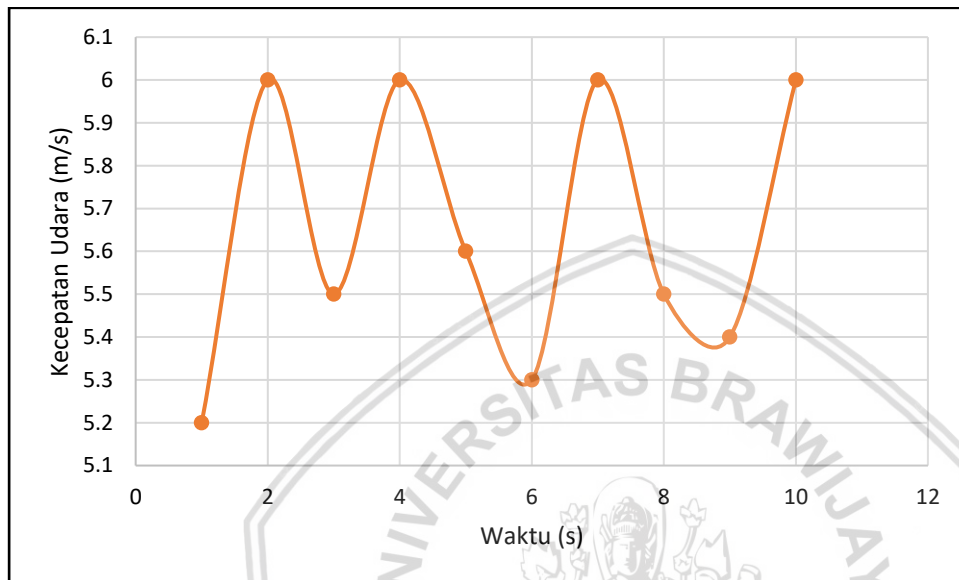
6. Daya gelombang

$$\begin{aligned} \overline{Pw} &= \bar{E} \cdot c_g \cdot b \\ &= 3,0554 \cdot 1,37 \cdot 0,3 \\ &= 1,2598 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.2 Hubungan Daya Udara terhadap Kemiringan Dinding Depan Kolom OWC

4.2.1 Pengolahan Data Daya Udara

Untuk mengetahui nilai daya udara pada kolom OWC diperlukan data kecepatan udara pada saluran buang. Dimana kecepatan udara pada saluran buang ini diukur menggunakan anemometer yang ditampilkan dalam grafik berikut.



Gambar 4.2 Kecepatan udara pada saluran buang dengan kemiringan dinding depan 0°

Grafik di atas adalah kecepatan udara pada saluran buang yang diambil dengan waktu 10s. Sehingga pada perhitungan daya udara selanjutnya menggunakan rata-rata dari kecepatan udara yang diperoleh.

Untuk perhitungan daya udara sendiri dibutuhkan beberapa nilai yang mendukung, dimana nilai ini ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.2
Parameter Perhitungan

No.	Parameter Perhitungan	Nilai
1	Diameter Saluran Buang	0,056 m
2	Massa Jenis Air (ρ_a)	997 kg/m ³
3	Massa Jenis Udara (ρ_u)	1,2 kg/m ²

Berikut ini adalah contoh perhitungan daya udara dengan kemiringan dinding depan ($\alpha = 0^\circ$).

1. Beda Tekanan (ΔP)

$$\Delta P = \frac{\rho_a v^2}{2}$$

$$\Delta P = \frac{1,2 \cdot 5,65^2}{2}$$

$$\Delta P = 19,154 \text{ N/m}^2$$

2. Debit Udara (Q)

$$Q = v \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

$$Q = 5,65 \cdot 3,14 \cdot 0,056^2$$

$$Q = 0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Daya Udara (P_{owc})

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q$$

$$P_{owc} = 19,154 \cdot 0,0139$$

$$P_{owc} = 0,267 \text{ Watt}$$

4.2.2 Hasil dan Pembahasan Daya Udara

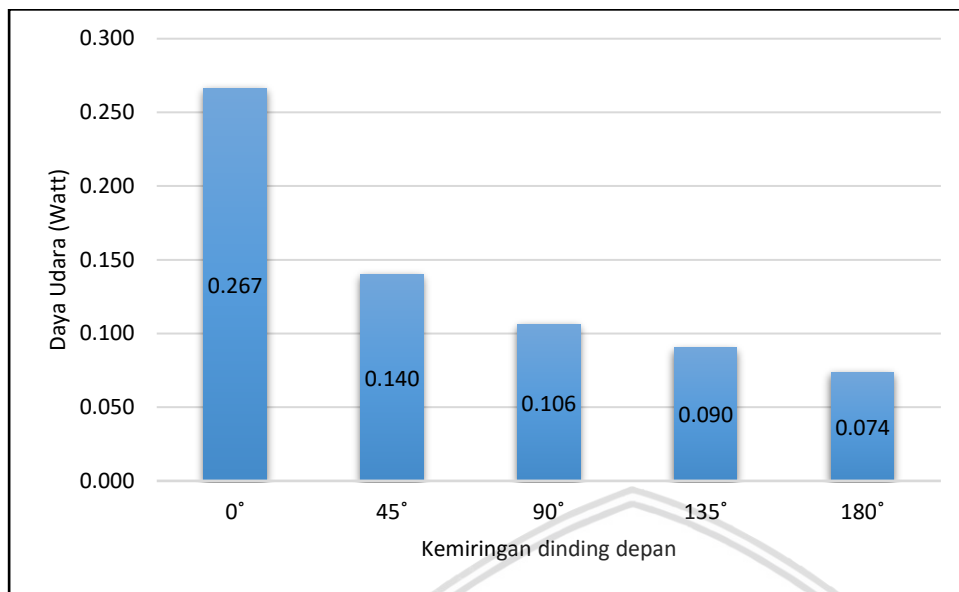
Setelah dilakukan perhitungan untuk tiap kemiringan dinding depan kolom OWC, maka didapatkan nilai daya udara seperti tabel berikut

Tabel 4.3

Daya udara pada kolom OWC

No.	Kemiringan dinding depan kolom air	Kecepatan Udara (v) (m/s)	Beda Tekanan (ΔP) (N/m^2)	Debit Udara (Q) (m^3/s)	Daya Udara (P_{owc}) (Watt)
1	$\alpha = 0^\circ$	5.65	19.154	0.0139	0.267
2	$\alpha = 45^\circ$	4.56	12.476	0.0112	0.140
3	$\alpha = 90^\circ$	4.16	10.383	0.0102	0.106
4	$\alpha = 135^\circ$	3.94	9.314	0.0097	0.090
5	$\alpha = 180^\circ$	3.68	8.125	0.0091	0.074

Untuk memperjelas pengaruh kemiringan dinding depan terhadap daya udara yang dihasilkan, maka disajikan dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik hubungan daya udara terhadap kemiringan dinding depan

Daya udara adalah daya yang dihitung dari fluida berupa udara yang melewati saluran buang pada kolom OWC. Daya udara inilah yang selanjutnya akan menjadi sumber daya untuk memutar turbin yang nantinya menghasilkan listrik dengan menyambungkan poros turbin ke generator.

Daya udara dipengaruhi oleh beda tekanan (ΔP) dan massa alir udara (Q). Untuk nilai beda tekanan sendiri ditinjau dari massa jenis udara (ρ_a) dan kecepatan udara (v) yang dihitung pada saluran buang. Sedangkan untuk nilai massa alir udara dipengaruhi oleh diameter saluran buang (D) dan kecepatan udara (v) sesuai dengan persamaan berikut

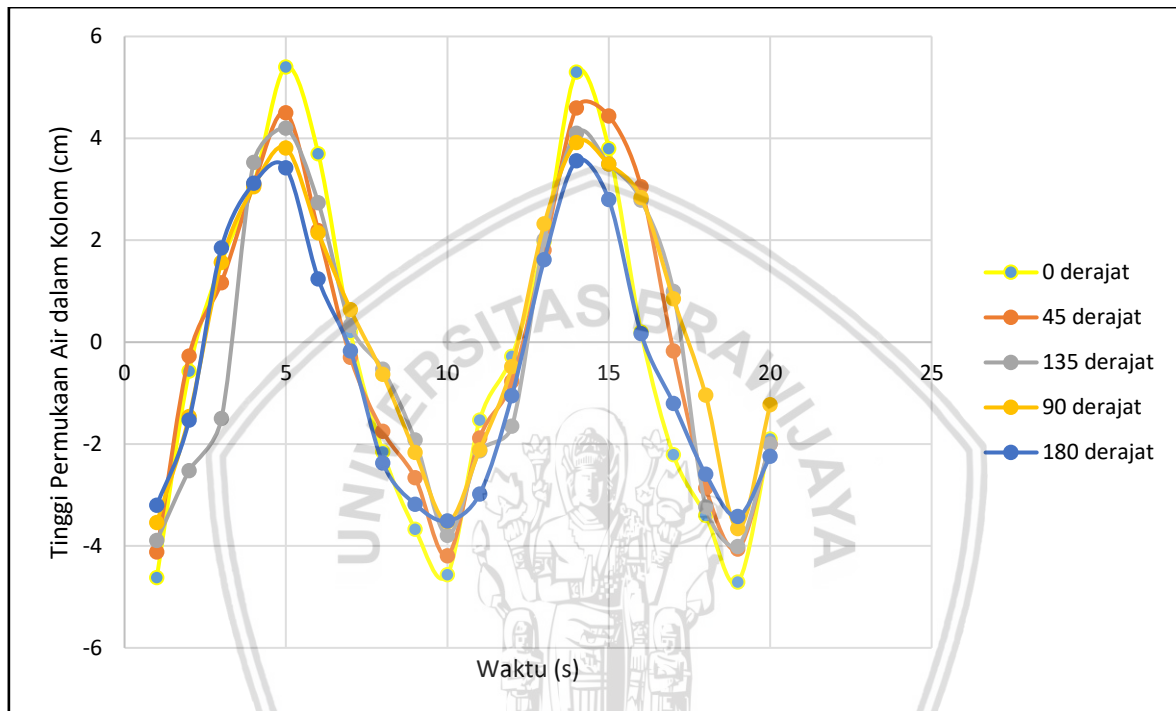
$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q$$

$$= \frac{\rho_a v^2}{2} \cdot v \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa urutan daya udara yang tertinggi ke terendah adalah 0° (0,267), 45° (0,14 watt), 90° (0,106 watt), 135° (0,09), dan 180° (0,074). Maka grafik di atas memperlihatkan bahwa semakin besar kemiringan dinding depan, maka semakin kecil daya udara yang dihasilkan.

Faktor utama yang menyebabkan turunnya daya udara seiring membesarnya kemiringan dinding depan adalah perubahan arah aliran dan pola aliran yang terbentuk. Semakin besarnya kemiringan dinding depan, semakin besar kemungkinan terjadinya pusaran aliran pada daerah dinding kolom. Pusaran aliran ini menyebabkan turunnya nilai

selisih perpindahan muka kolom air yang dapat dilihat pada gambar 4.4. Dimana semakin besar selisih nilai ketinggian permukaan air dalam kolom maka semakin baik proses kompresi dan dekompresi yang terjadi. Berikut adalah pengaruh tinggi permukaan air dalam kolom terhadap variasi kemiringan dinding depan OWC yang didapatkan dengan memasang sensor ultrasonik pada kolom.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh tinggi permukaan air dalam kolom terhadap variasi kemiringan dinding depan OWC

Selain dipengaruhi perubahan arah aliran air, dan tinggi naik turunnya permukaan air pada kolom, salah satu faktor lain yang mempengaruhi daya udara pada kolom OWC adalah profil permukaan kolom air.

Salah satu profil permukaan kolom air yang dimaksud dapat dilihat pada variasi kemiringan dinding depan 180° berikut. Dimana pada variasi kemiringan dinding depan 180° ini memiliki nilai daya udara terendah dikarenakan memiliki profil yang mengarah kepada tipe profil *transient sloshing* ketika ditinjau dari visualisasinya. Namun, profil permukaan kolom air untuk perangkat OWC normalnya dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut

$$Kd = kd \tanh(kd)$$

Sehingga didapatkan nilai K_d untuk gelombang pada penelitian ini sebesar 0,251. Untuk profil permukaan kolom air *transient sloshing* sendiri normalnya memiliki nilai $1,52 < K_d < 2,15$. Namun, dengan adanya kemiringan dinding depan sebesar 180° ini menyebabkan terjadinya pusaran aliran pada daerah dinding kolom. Dengan adanya pusaran aliran ini tercipta perbedaan kecepatan pada permukaan air dengan air yang berada di daerah dinding depan kolom. Sehingga menyebabkan terciptanya olakan gelombang pada kolom air yang mana mengganggu proses osilasi gelombang yang berguna untuk melakukan kompresi dan dekompresi udara pada kolom.



Gambar 4.5 Profil permukaan kolom air pada kemiringan dinding 180°

Sedangkan untuk profil permukaan kolom air yang baik agar perangkat OWC menghasilkan daya udara yang optimum adalah permukaan kolom air yang memiliki tipe profil piston. Dimana dengan tipe profil permukaan kolom air piston ini tidak akan mengganggu proses osilasi gelombang, sehingga nilai selisih ketinggian kolom air akan lebih optimum. Sehingga tidak mengganggu proses kompresi maupun proses dekompresi udara, dan akhirnya daya udara yang dihasilkan akan lebih tinggi.

4.3 Hubungan Efisiensi terhadap Kemiringan Dinding Depan Kolom OWC

4.3.1 Pengolahan Data Efisiensi OWC

Efisiensi OWC didapatkan dengan membandingkan daya udara yang dihasilkan dari kolom OWC dengan daya gelombang yang tercipta oleh *wave maker*. Berikut adalah contoh perhitungan efisiensi OWC dengan kemiringan dinding depan ($\alpha = 0^\circ$).

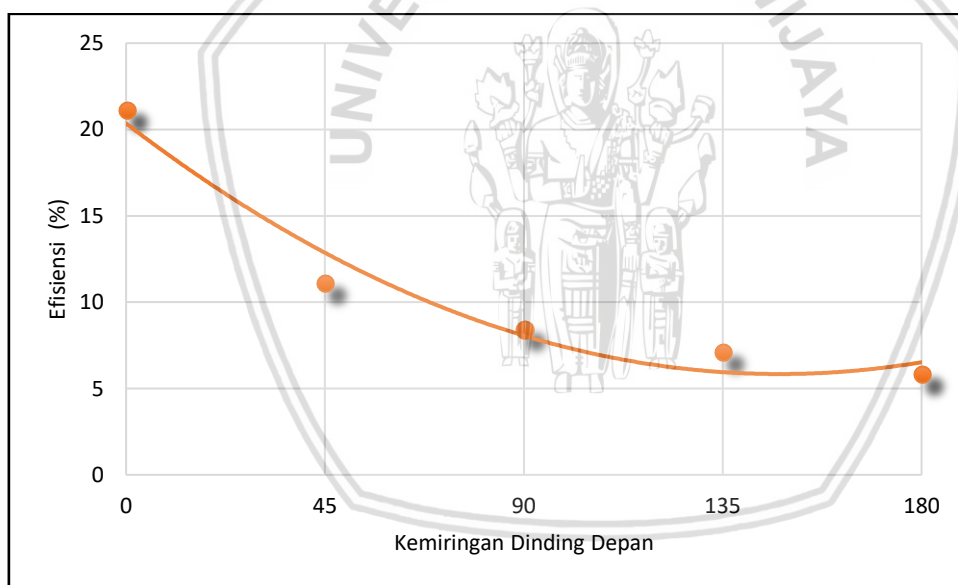
$$\eta_{OWC} = \frac{P_{OWC}}{P_W} \cdot 100\%$$

$$\eta_{OWC} = \frac{0,266}{1,259} \cdot 100\%$$

$$\eta_{OWC} = 21,12 \%$$

4.3.2 Hasil dan Pembahasan Efisiensi OWC

Dengan melakukan perhitungan efisiensi tiap variasi kemiringan dinding depan kolom OWC, maka dapat disajikan grafik sebagai berikut.



Gambar 4.6 Hubungan efisiensi terhadap kemiringan dinding depan kolom OWC

Faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi ini adalah daya gelombang dan daya udara. Seperti dijelaskan sebelumnya, efisiensi OWC dihitung dengan membandingkan nilai daya udara dengan daya gelombang. Yang mana daya udara berbanding lurus dengan nilai efisiensi perangkat OWC. Sedangkan nilai daya gelombang berbanding terbalik dengan nilai efisiensinya. Namun, pada penelitian ini kemiringan dinding depan tidak mempengaruhi nilai daya gelombang, sehingga pada penelitian ini nilai daya gelombang yang didapatkan adalah sama untuk setiap variasi kemiringan dinding depan, yaitu sebesar 1,2598 Watt.

Dari gambar terlihat pengaruh efisiensi terhadap kemiringan dinding depan kolom OWC. Urutan efisiensi yang tertinggi ke terendah adalah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° . Hal ini sesuai hipotesis dimana semakin kecil kemiringan dinding depan kolom maka pola aliran yang terbentuk akan semakin baik, sehingga tidak akan mengurangi energi gelombang yang berfungsi sebagai sumber energi untuk melakukan proses kompresi dan dekompresi udara pada kolom. Dengan begitu nilai daya udaranya pun semakin tinggi. Dikarnakan nilai daya gelombang yang sama untuk setiap variasi kemiringan dinding depan kolom, maka efisiensi semakin meningkat seiring dengan pengecilan kemiringan dinding depan kolom.



BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data maupun pembahasan yang telah dilakukan. Diperoleh kesimpulan dan saran terhadap hasil penelitian pengaruh kemiringan dinding depan kolom OWC terhadap daya udara dan efisiensinya.

5.1 Kesimpulan

1. Dengan menggunakan ketinggian air tenang (d) 0,25m dan panjang gelombang 3 m, maka gelombang yang tercipta dapat diklasifikasikan sebagai gelombang *transitional*.
2. Urutan daya udara tertinggi ke terendah adalah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° . Hal ini disebabkan semakin besarnya kemiringan dinding kolom, maka mempengaruhi perubahan arah aliran air dan menyebabkan terjadinya pusaran. Dengan semakin besar pusaran yang terjadi, menyebabkan semakin kecilnya selisih nilai ketinggian permukaan air dalam kolom. Sehingga akan mempengaruhi proses kompresi dan dekompresi udara pada kolom udara yang menyebabkan penurunan daya udara.
3. Urutan efisiensi yang tertinggi ke terendah adalah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° . Faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah daya udara dan daya gelombang. Dimana pada penelitian ini didapatkan daya gelombang yang sama untuk setiap variasinya. Sehingga semakin besarnya kemiringan dinding depan, daya udara yang dihasilkan berkurang, sehingga efisiensi perangkat OWCpun menurun.

5.2 Saran

1. Selain memvariasikan kemiringan dinding depan OWC, disarankan untuk memvariasikan parameter lainnya seperti karakteristik gelombang, sehingga didapatkan efisiensi yang lebih maksimal.
2. Perlu dilakukanya penelitian lebih lanjut mengenai cara meningkatkan efektifitas dan efisiensi dari perangkat OWC untuk memaksimalkan penggunaan energi alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Buwana. Mita (2015). *Analisa Bentuk Oscillating Water Column Untuk Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dean, G. Robert & Robert A. Dalrymple (1984). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Cornell :Philip L-F Liu
- Bouli,B. & Larbi, S. (2013). *Contribution to the Geometry Optimization of an Oscillating Water Column Wave Energy Converter*. Algeria. Université de Laghouat-03000
- Çelik A. & Altunkaynak A.(2018) *Experimental and analytical investigation on chamber water surface fluctuations and motion behaviours of water column type wave energy converter*. Istanbul. Istanbul Technical University Faculty of Civil Engineering
- Munson R. Bruce & Young F. Donald (2003). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Jakarta : Erlangga
- Cengel, Yunus A. & John M. Cimbala (2004). *Fluid Mechanics*. Boston: McGraw-Hill.

